

Pengendalian pH Air pada Prototipe Tambak Udang Vaname Berbasis *Fuzzy Logic Controller***RANCANG BANGUN PENGENDALIAN DERAJAT KEASAMAN (pH) AIR PADA PROTOTIPE TAMBAK UDANG VANAME BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER****Mas'ud Huda**S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : Masudhuda@mhs.unesa.ac.id**Bambang Suprianto**Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : bambangsuprianto@unesa.ac.id**Abstrak**

Tambak adalah sebuah perairan yang sengaja dibuat sebagai tempat budidaya. Salah satu tujuan dibuatnya tambak yang sering dijumpai adalah untuk budidaya udang vaname. Hal yang perlu untuk dijaga dan diwaspadai dalam membudidayakan udang vaname di dalam tambak adalah derajat keasaman (pH) air tambak. Derajat keasaman yang paling tepat dalam melakukan budidaya udang vaname adalah 7-7.5, pada rentang tersebut udang dapat tumbuh dengan baik. Oleh sebab itu, penulis membuat sistem pengendalian derajat keasaman (pH) air pada prototipe tambak udang vaname berbasis *fuzzy logic controller*. Dalam metode tersebut terdapat 4 variabel, yaitu 2 variabel *input error* dan *delta error*, dengan memiliki 5 nilai linguistik, yaitu SA (sangat asam), A (asam), N (netral), B (basa), dan SB (sangat basa). Sedangkan untuk output terdapat 2 variabel yaitu *pwm pompa asam* dan *pwn pompa basa* dengan memiliki 3 nilai linguistik, yaitu P (pelan), N (normal), dan C (cepat). Basis aturan dasar yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan aturan *IF-THEN* dengan metode implikasi "*MIN*". Dengan menggunakan metode *fuzzy logic controller*, hasil respon dinamik memiliki nilai t_d (*delay time*) = 9,3 s, t_r (*rise time*) = 29,6 s, t_s (*setting time*) = 40,5 s, M_p (*maksimal overshoot*) = 0,74 %, dan E_{ss} (*error steady state*) = 0,3 %.

Kata kunci : Tambak Udang Vaname, pH air, *Fuzzy Logic Controller***Abstract**

Pond is a water area that is deliberately made as a place of cultivation. One of the objectives of making ponds that are often encountered is for vaname shrimp farming. The thing that needs to be maintained and watch out for raising vaname shrimp in ponds is the degree of acidity (pH) of pond water. The most appropriate acidity level in conducting vaname shrimp farming is 7-7.5, in that range shrimp can grow well. Therefore, the authors make a system of controlling the degree of acidity (pH) of water on a prototype vaname shrimp pond based on *fuzzy logic controller*. In this method there are 4 variables, namely 2 input error and delta error variables, with 5 linguistic values, namely SA (very acidic), A (acidic), N (neutral), B (alkali), and SB (very alkali). Whereas for output there are 2 variables namely acid pump pmw and base pump pwn with 3 linguistic values, namely P (slow), N (normal), and C (fast). The basic rule base used in this study uses the IF-THEN rule with the "MIN" implication method. By using the *fuzzy logic controller* method, the dynamic response results have a value of t_d (*delay time*) = 9,3 s, t_r (*rise time*) = 29,6 s, t_s (*setting time*) = 40,5 s, M_p (*maksimal overshoot*) = 0,74 %, dan E_{ss} (*error steady state*) = 0,3 %.

Keywords : Vaname Shrimp Pond, Water pH, *Fuzzy Logic Controller*.**PENDAHULUAN**

"Tambak adalah sebuah perairan yang sengaja dibuat sebagai wadah atau tempat budidaya yang biasanya letaknya di dekat pantai" (Mizan Wahyu Susilo, 2016). Salah satu tujuan dibuatnya tambak yang sering dijumpai adalah untuk budidaya udang vaname. "Kegiatan budidaya tambak yang terus menerus dapat

mengakibatkan terjadinya degradasi lingkungan, yang ditandai dengan menurunnya kualitas air" (Mustofa Niti Suparjo, 2010).

Salah satu hal yang perlu untuk dijaga dan diwaspadai dalam membudidayakan udang vaname di dalam tambak adalah derajat keasaman (pH) air tambak. "Untuk nilai yang derajat keasaman air di dalam tambak

yang normal berada pada kisaran 6 – 9, tetapi derajat keasaman yang paling tepat dalam melakukan budidaya udang vaname adalah 7-7.5, pada rentang tersebut udang akan merasa nyaman dan dapat tumbuh dengan baik” (Andrian Kristianto dkk, 2012).

Dengan adanya masalah-masalah diatas, perlu adanya suatu sistem yang dapat mengatur pH air pada tambak udang vaname agar tetap stabil. Sistem ini sangat diperlukan karena selama ini dalam pengaturan pH air tambak masih secara manual dan memerlukan waktu setiap beberapa jam sekali untuk melihat nilai pH air tambak sebelum melakukan sistem tersebut. Oleh sebab itu, dalam menyikapi permasalahan tersebut penulis akan memberikan solusi berupa sistem pengendalian derajat keasaman (pH) air pada prototipe tambak udang vaname berbasis *fuzzy logic controller*.

KAJIAN PUSTAKA

pH Air pada Tambak Udang Vaname

Salah satu hal yang patut kita jaga dan waspadai dalam membudidayakan udang vaname di dalam tambak adalah derajat keasaman air tambak, hal ini dianggap perlu karena derajat keasaman (pH) dapat mempengaruhi pertumbuhan udang yang ada di dalam tambak, atau juga jika terlalu ekstrem, maka derajat keasaman (pH) juga dapat mematikan bagi udang (Remy, 2016).

Jika kadar keasaman air di dalam tambak terlalu tinggi atau posisinya di atas 10, maka dengan kadar seperti ini tambak kita sudah dalam keadaan genting, karena dengan kadar seperti ini sudah cukup mematikan bagi udang yang kita pelihara.

Untuk nilai yang derajat keasaman air di dalam tambak yang normal berada pada kisaran 6 – 9, tetapi derajat keasaman yang paling tepat dalam melakukan budidaya udang vaname adalah 7 – 7,5, pada rentang tersebut udang akan merasa nyaman dan dapat tumbuh dengan baik.

Kendali Fuzzy

Pada dasarnya ada dua pendekatan untuk membuat kendali *fuzzy* menurut Reznik, yaitu dengan pendekatan pakar dan pendekatan teknik kontrol. Pada awalnya, struktur kendali *fuzzy* dan pemilihan parameter diasumsikan sebagai tanggung jawab para perancang. Akibatnya, desain dan kinerja pengendali *fuzzy* sangat bergantung pada pengetahuan dan pengalaman para ahli, intuisi, dan perasaan professional seorang perancang.

Pendekatan kedua menerapkan pengetahuan tentang teknik kontrol dan desain pengendali *fuzzy* dalam beberapa aspek yang serupa dengan desain pengendali konvensional seperti *PID*, jaringan saraf tiruan, dan lain-lain.

Menurut Kusumadewi dan Purnomo (2010) Himpunan Fuzzy memiliki 2 atribut, yaitu linguistic dan

numeris. Linguistik adalah penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti “MUDA, PAROBAYA, TUA”. Sedangkan numeris yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel seperti: 40, 25, 50, dsb.

Pengolahan Aturan Fuzzy

Pengolahan aturan *fuzzy* yang pertama yaitu dengan tipe Mamdani. Mamdani menemukan cara untuk mengatur *plant* dengan menerapkan aturan *Fuzzy* atau pernyataan kondisional *Fuzzy*, seperti

“Jika error tekanan (PE) adalah **Negatif Besar (NB)** Maka perubahan panas (HC) adalah **Positif Besar (PB)**”

Aturan tersebut diolah yang istilahnya mekanisme inferensi atau mesin inferensi. Secara matematis dapat dituliskan

$$[R1] \text{ Jika } A_{i1}(x_1), A_{i2}(x_2), \dots, A_{im}(x_m) \text{ maka } Y \text{ adalah } B_i \quad (1)$$

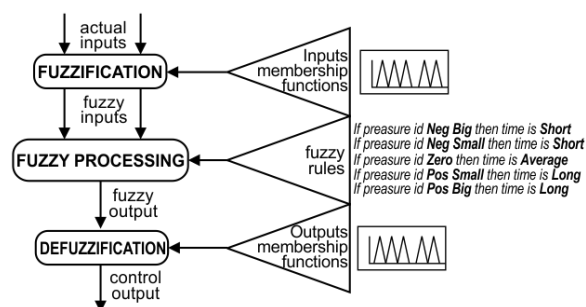
Pengolahan aturan *fuzzy* yang kedua yaitu dengan tipe Sugeno. Pada tipe Sugeno terdapat perubahan pada bagian aturan. Pada bagian konsekuensi merupakan fungsi matematis dari variabel masukan. Format aturannya adalah

$$[R1] \text{ jika } A_1(x_1), A_2(x_2), \dots, A_n(x_n) \text{ maka } Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

Dimana R1 adalah *rule*, x_1, x_2, \dots, x_m adalah variabel masukan seperti temperatur, tekanan, *error*, dll. $A_{ij}(x_j)$ ($j = 1, 2, \dots, m$) adalah himpunan *Fuzzy* X_j , Y adalah variabel keluaran, B_i adalah himpunan *Fuzzy* Y .

Operasi Kendali Fuzzy

Mesin inferensi merupakan pusat dari operasi kendali *Fuzzy*. operasi kendali *Fuzzy* dibagi menjadi 3 langkah seperti Gambar 1.



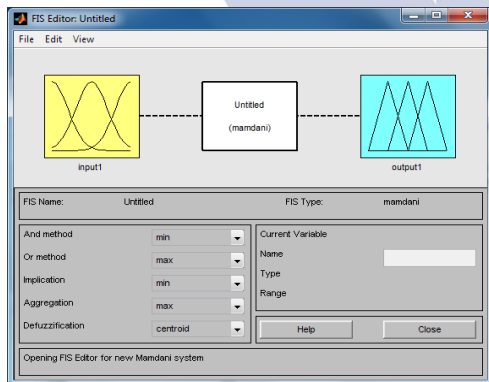
Gambar 1 Tahapan Operasi Kendali Fuzzy
(Sumber : Reznik, 1997)

Langkah pertama yaitu fuzzifikasi. Fuzzifikasi merupakan proses mengubah masukan aktual menjadi masukan untuk variabel masukan. Kemudian langkah kedua adalah pengolahan *fuzzy*. Pengolahan *fuzzy* adalah proses mengolah masukan *fuzzy* sesuai dengan aturan dan menentukan keluaran *fuzzy*. Dan langkah ketiga adalah Defuzzifikasi. Defuzzifikasi adalah proses menghasilkan nilai tegas untuk keluaran *fuzzy*.

Logika *Fuzzy* pada MATLAB

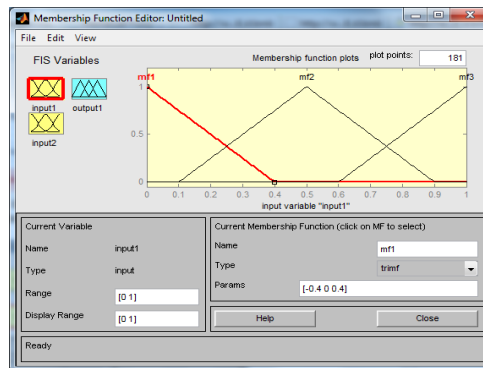
MATLAB adalah bahasa pemrograman teknis yang sangat andal untuk proses simulasi dan visualisasi data. MATLAB menjadi tools bagi para ilmuwan dan pelajar untuk memodelkan sistem, menganalisis serta menampilkan data. Saat ini, MATLAB terus berkembang untuk menyokong berbagai disiplin keilmuan, termasuk logika *fuzzy*. MATLAB telah menyediakan sebuah tools untuk merancang logika *fuzzy*, yang dikenal sebagai *Fuzzy Logic Toolbox*.

Untuk merancang *fuzzy* pada MATLAB, dapat menggunakan dua cara, yaitu dengan mengetiian sintaksnya pada, atau menggunakan jendela visual yang telah dirancang antarmukanya sedemikian rupa untuk mendesain suatu sistem *fuzzy*. Antarmuka ini dikenal sebagai FIS editor. Pada aplikasi logika *fuzzy* menggunakan Matlab ini yang perlu dipahami adalah bagian-bagian yang ada pada logika *fuzzy*. Bagian tersebut adalah fuzzifikasi, *rule* evaluasi dan defuzzifikasi (Muhammad Burhanuddin, 2014).



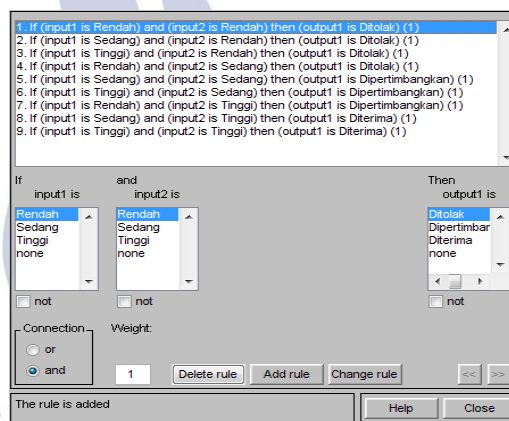
Gambar 2 Fuzzy tollbox pada MATLAB

Selanjutnya membuat fungsi keanggotaan (*membership function*) untuk input dengan cara double klik pada masukan pelayanan, maka akan muncul jendela baru untuk mengatur fungsi keanggotaan.



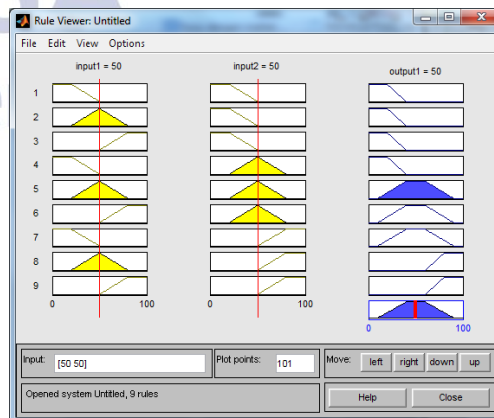
Gambar 3 Fungsi keanggotaan *fuzzy* di MATLAB

Kemudian membuat logika pada *rule base*. Close terlebih dahulu *Membership Function Editor*. Double klik pada bagian tengah FIS editor untuk memasukkan logika yang sesuai.



Gambar 4 Rule logika *fuzzy* pada MATLAB

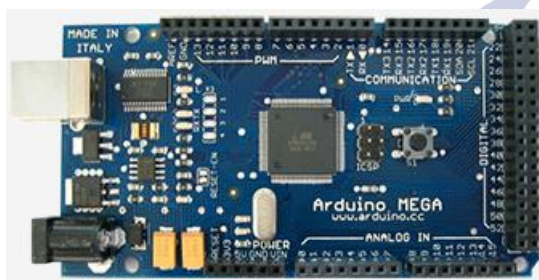
Hasil dari sistem yang dibangun menggunakan *fuzzy* dapat dilihat pada gambar 5. Garis merah pada *input 1* dan *input 2* dapat digeser yang otomatis nilai *output* akan berubah mengikuti nilai-nilai *input* tersebut.



Gambar 5 Hasil *output* logika *fuzzy* pada MATLAB

Arduino Atmega 2560

Arduino adalah perangkat keras berbentuk rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai kontroller dihubungkan dengan sensor yang memberikan informasi berupa keadaan, kemudian diolah dan dihasilkan suatu aksi. Board ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin UART (serial port hardware). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset. Board ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroller.



Gambar 6 Modul Arduino Mega
(Sumber: www.arduino.cc)

Pompa DC 12V

Pompa adalah mesin atau peralatan mekanis yang digunakan untuk menaikkan cairan dari dataran rendah ke dataran tinggi atau untuk mengalirkan cairan dari daerah bertekanan rendah ke daerah yang bertekanan tinggi dan juga sebagai penguat laju aliran pada suatu sistem jaringan perpipaan. Dalam hal ini, pompa yang digunakan adalah pompa DC 12 Volt. Pompa dalam penelitian ini digunakan sebagai actuator dimana akan memberikan aksi langsung terhadap pengontrolan pH pada tambak udang.

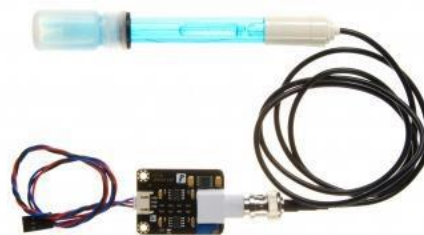


Gambar 9 Pompa DC 12 Volt
(Sumber : www.anself.com)

Sensor pH

Sensor pH berfungsi sebagai penentu derajat keasaman atau kebasaan dari suatu bahan. Dan pH itu sendiri adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Unit pH diukur pada skala 0 sampai 14. Kadar keasaman suatu larutan diaktakan

netral apabila bernilai 7. Sensor pH berfungsi sebagai penentu derajat keasaman atau kebasaan dari suatu bahan.



Gambar 10 Sensor pH
(Sumber : www.dfrobot.com)

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Pada penelitian ini, pendekatan penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Kasiram (2008:149) dalam bukunya Metodologi Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif, mendefinisikan penelitian kuantitatif adalah suatu proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui.

Rancangan Penelitian

Tahapan perancangan penelitian ini secara garis besar dijelaskan dalam Gambar 11.



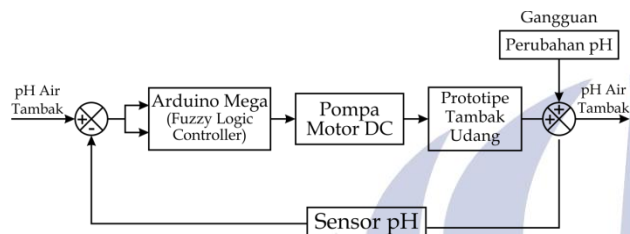
Gambar 11 Tahapan Rancangan Penelitian

Disini penelitian dimulai dengan study literatur, peneliti membaca jurnal, buku dan penelitian sebelumnya yang terkait, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian. Kemudian dilanjutkan perancangan hardware kemudian dilanjutkan

dengan mendesain kendali *fuzzy logic controller*. Kemudian penelitian dilanjutkan dengan perancangan software. Setelah perancangan software dilakukan, kemudian melakukan pengujian. Jika didalam pengujian sistem dapat bekerja dengan baik maka dilanjutkan dengan analisis dan pembahasan.

Desain Sistem

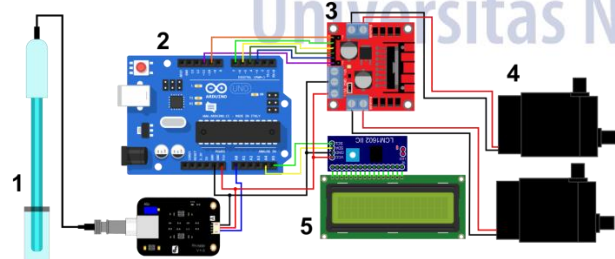
Desain sistem pengendalian derajat keasaman (pH) air pada prototipe tambak udang vaname berbasis *fuzzy logic controller* ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Diagram blok pengaturan pH air pada prototipe tambak udang vaname

Masukan untuk sistem ini ialah pH yang akan dibaca oleh sensor. Kemudian nilai pH tersebut akan menjadi sinyal referensi dan diproses menggunakan kendali *Fuzzy logic controller*. Terdapat dua masukan untuk kendali *Fuzzy logic controller* yaitu *error* (e) dan *deltaerror* (de). *Error* merupakan selisih nilai masukan dengan nilai keluaran, sedangkan *delta error* merupakan turunan sudut angular yaitu kecepatan angular. Nilai masukan yang telah diproses aturan *fuzzy* akan dikonversi menjadi sinyal PWM sebagai masukan driver motor DC. Kemudian pompa motor DC sebagai aktuator akan mengatur seberapa banyak air kandungan asam atau basa yang akan dipompa menuju pada kolam/akuarium.

Wiring diagram sistem pengendalian pH air pada prototipe tambak udang vaname dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Wiring diagram hardware prototipe tambak udang vaname

Pada *wiring* digram hardware diatas terdiri dari beberapa komponen, diantaranya:

1. Sensor pH digunakan untuk mengukur kandungan pH didalam prototipe tambak udang.

2. Arduino Mega 2560 disini berfungsi sebagai pusat kendali didalam penelitian ini dan Arduino digunakan untuk menerima hasil pembacaan sensor yang telah dikirim.
3. Driver motor L298N ini berfungsi untuk menggerakkan pompa asam atau pompa basa
4. Pompa dc 12v pemompa cairan asam dan basa yang digunakan untuk mengatur nilai pH didalam prototipe tambak udang agar sesuai dengan setpoint yang ditentukan.
5. LCD 16x2 digunakan untuk menampilkan nilai pH didalam plant.

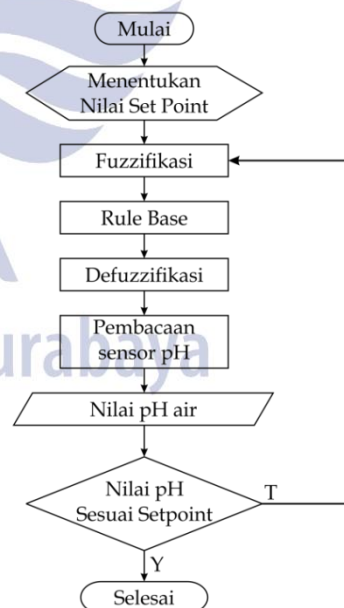
Rancang Bangun Hardware

Tampilan hardware prototipe tambak udang vaname ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Hardware prototipe tambak udang vaname

Rancang Bangun Software



Gambar 15 Flowchart software

Rancang bangun *software* yang dimaksud dalam penelitian ini adalah program yang dimasukkan ke dalam mikrokontroller arduino. Pada dasarnya rancang bangun software berjalan dengan membaca nilai pH air pada

tambak udang kemudian nilai tersebut dibandingkan dengan nilai set point (referensi). Kemudian hasil dari perbandingan dari nilai referensi (set point) dan nilai pembacaan pH air tambak udang selanjutnya menentukan kecepatan dari pompa DC. Pengendali kecepatan putaran pompa DC dengan propeller menggunakan pengendali *Fuzzy*.

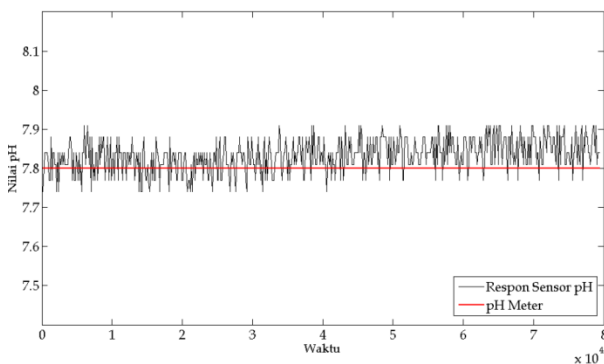
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas pengujian sensor pH, perancangan pengendali *fuzzy logic controller* dan pengujian respon sistem.

Perbandingan Sensor pH dengan pH Meter

Sensor pH dihubungkan ke arduino. Sensor pH ini memiliki rentang pembacaan antara 0-14 satuan pH. Sensor dikalibrasi dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan sebuah pH meter.

Pada pengujian ini peneliti mengambil hasil respon pembacaan sensor pada sebuah cairan bernilai pH 7,8 dalam rentang waktu 1 menit.



Gambar 16 Perbandingan sensor pH dengan pH meter

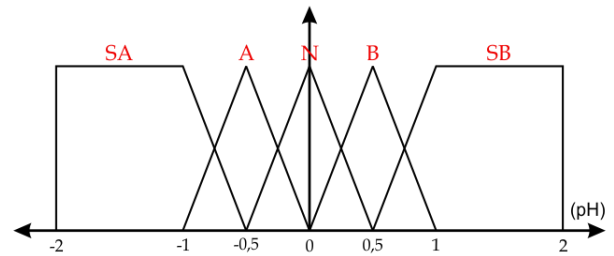
Pada Gambar 16 dapat diketahui bahwa pembacaan sensor tidak bisa tetap sesuai dengan yang dibaca pada pH meter. Dengan hasil yang ditunjukkan oleh Gambar 16 dapat diketahui sebagai berikut :

Rata-rata pembacaan sensor = 7,77
 Pembacaan pH meter = 7,8
 Selisih sensor pH dengan pH meter = $7,8 - 7,77$
 = 0,03

Setelah dilakukan pengujian terhadap sensor pH selama 1 menit, dapat diketahui bahwa sensor pH bekerja baik dan memiliki selisih pembacaan dengan pH meter sebesar 0.03 satuan pH.

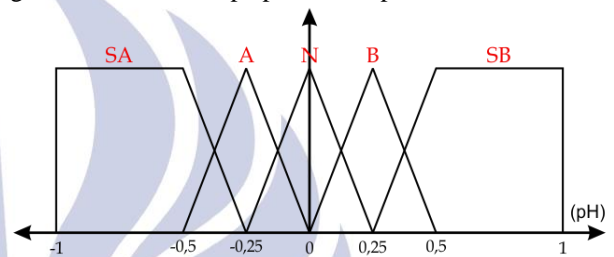
Perancangan Pengendali *Fuzzy Logic Controller*

Pada penelitian ini, terdapat 4 variabel, yaitu 2 variabel *input error* dan *delta_error*, sedangkan untuk output terdapat 2 variabel yaitu variabel pwm pompa asam dan pwn pompa basa.



Gambar 17 Fungsi Keanggotaan Input Error

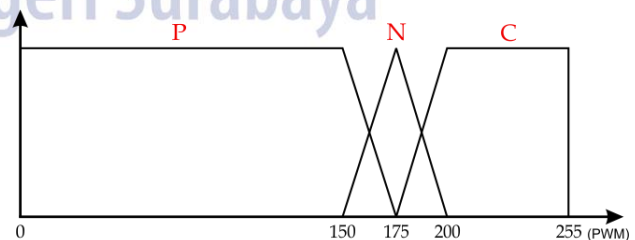
Pada Gambar 17 dapat dilihat bahwa fungsi keanggotaan variabel *error* memiliki 5 nilai linguistik, yaitu SA (sangat asam), A (asam), N (netral), B (basa), dan SB (sangat basa). Variabel tersebut memiliki nilai rentang semesta pembicaraan pada masukan sistem yang digunakan adalah berupa pH -2 sampai 2.



Gambar 18 Fungsi Keanggotaan Input Delta Error

Pada Gambar 17 dapat dilihat bahwa fungsi keanggotaan variabel *error* memiliki 5 nilai linguistik, yaitu SA (sangat asam), A (asam), N (netral), B (basa), dan SB (sangat basa). Variabel tersebut memiliki nilai rentang semesta pembicaraan pada masukan sistem yang digunakan adalah berupa pH -2 sampai 2.

Sedangkan variabel *output* terdapat 2 variabel, yaitu PWM Pompa Asam dan PWM Pompa Basa. Pada Gambar 19 dapat dilihat bahwa kedua variabel *output* tersebut memiliki 3 nilai linguistik, yaitu P (pelan), N (normal), dan C (cepat). Kedua variabel *output* tersebut memiliki nilai rentang semesta pembicaraan pada keluaran sistem yang digunakan adalah berupa PWM 0 sampai 255.



Gambar 19 Fungsi Keanggotaan Output PMW Pompa Asam dan PMW Pompa Basa

Dengan menggunakan *rule base* atau basis aturan *IF-THEN* metode implikasi MIN yang kemudian hasil dari setiap aturan *fuzzy* diagregasikan menggunakan

metode MAX, maka matrik *rule base* yang didapatkan adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 20 dan Gambar 21.

de \ e	SA	A	N	B	SB
SA	-	-	-	-	-
A	-	-	-	-	-
N	-	-	-	P	C
B	-	-	P	N	C
SB	-	-	N	C	C

Gambar 20 *Rule Base* variabel keluaran PWM Pompa Asam

Rule base variabel keluaran PWM Pompa Asam pada Gambar 20 dapat diketahui bahwa apabila variabel *error* SB (sangat basa) dan variabel *delta error* SB (sangat basa) maka variabel keluaran PWM Pompa Asam C (cepat).

de \ e	SA	A	N	B	SB
SA	C	C	N	-	-
A	C	N	P	-	-
N	C	P	-	-	-
B	-	-	-	-	-
SB	-	-	-	-	-

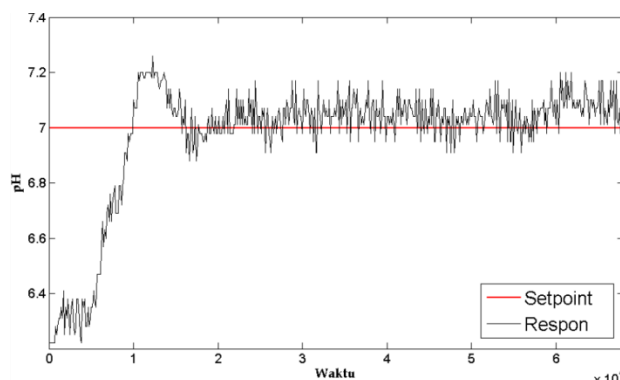
Gambar 21 *Rule Base* variabel keluaran PWM Pompa Basa

Pada Gambar 21 adalah *Rule base* variabel keluaran PWM Pompa Basa. Dan dapat diketahui bahwa apabila variabel *error* SA (sangat asam) dan variabel *delta error* SA (sangat asam) maka variabel keluaran PWM Pompa Basa C (cepat).

Pengujian dan Analisis Respon *Plant*

Pada pengujian respon *plant* ini dilakukan dengan 4 kali pengujian, diantaranya respon *plant* tanpa controller, menggunakan controller, dengan gangguan asam, dang dengan gangguan basa.

1. Pengujian *Real Plant* Tanpa Kontroller



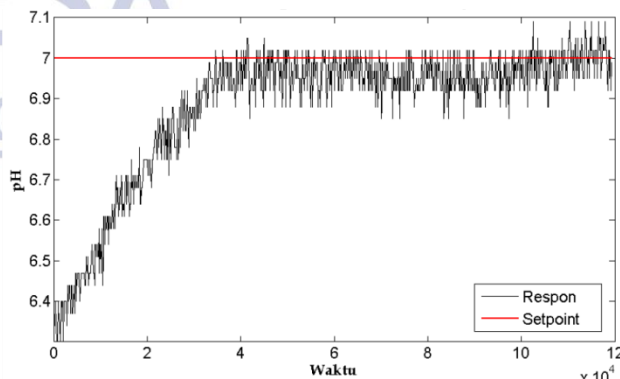
Gambar 22 Hasil Respon *Plant* Tanpa Kontroller

Tabel 1 Respon Dinamik Tanpa Kontroller

Parameter	Respon Dinamik
M_p (Simpangan Maksimum)	2.69 %
E_{ss} (Error Steady State)	0,6 %
t_p (waktu M_p)	11.3 Detik
t_s (waktu tunak)	21.3 Detik
t_r (waktu naik)	15.6 Detik
t_d (waktu tunda)	4.9 Detik

Berdasarkan hasil analisis respon dinamik sistem pada pengujian *plant* Pengendalian pH air pada Prototipe Tambak Udang Vaname tanpa controller memiliki nilai *Error Steady State* pada sistem sebesar 0.6 % ,waktu naik (t_r) yaitu 15.6 detik, waktu tunak (t_s) yaitu 21.3 detik, waktu tunda (t_d) sebesar 4.9 detik dan memiliki nilai simpangan maksimum sebesar 2.69 %.

2. Pengujian *Real Plant* Berbasis *Fuzzy Logic Controller*



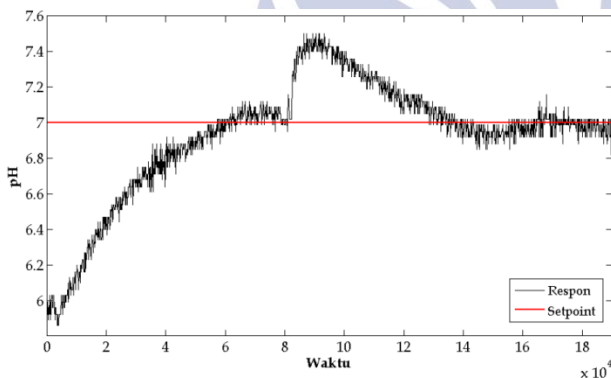
Gambar 22 Hasil Respon *Plant* Berbasis *Fuzzy Logic Controller*

Tabel 2 Respon Dinamik Berbasis *Fuzzy Logic Controller*

Parameter	Respon Dinamik
M_p (Simpangan Maksimum)	0.74 %
E_{ss} (Error Steady State)	0.3 %
t_p (waktu M_p)	34.7 Detik
t_s (waktu tunak)	40.5 Detik
t_r (waktu naik)	29.6 Detik
t_d (waktu tunda)	9.3 Detik

Berdasarkan hasil analisis respon dinamik sistem pada pengujian *plant* Pengendalian pH air pada Prototipe Tambak Udang Vaname berbasis *fuzzy logic controller* memiliki nilai *Error Steady State* pada sistem sebesar 0.3 %, waktu naik (t_r) yaitu 29.6 detik, waktu tunak (t_s) yaitu 40.5 detik, waktu tunda (t_d) sebesar 9.3 detik dan memiliki nilai simpangan maksimum sebesar 0.74 %.

3. Pengujian *Real Plant* dengan Gangguan Basa

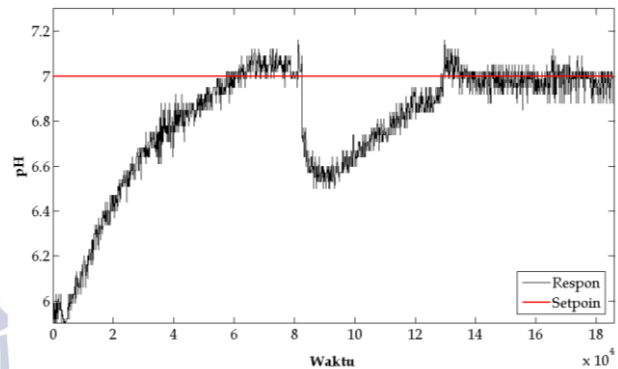
**Gambar 18** Hasil Respon *Plant* *Kontroller Fuzzy* dengan gangguan Basa**Tabel 3** Respon Dinamik dengan Gangguan Basa

Parameter	Respon Dinamik
M_p (Simpangan Maksimum)	1.9 %
E_{ss} (Error Steady State)	0.3 %
t_p (waktu M_p)	59 Detik
t_s (waktu tunak)	66,3 Detik
t_r (waktu naik)	46,3 Detik
t_d (waktu tunda)	14,5 Detik

Berdasarkan hasil analisis respon dinamik sistem pada pengujian *plant* Pengendalian pH air pada Prototipe Tambak Udang Vaname berbasis *fuzzy logic controller* dengan gangguan basa memiliki nilai *Error Steady State* pada sistem sebesar 0.3 %, waktu naik (t_r) yaitu 46.3 detik, waktu tunak (t_s) yaitu 66.3

detik, waktu tunda (t_d) sebesar 14.5 detik dan memiliki nilai simpangan maksimum sebesar 1.9 %.

4. Pengujian *Real Plant* dengan Gangguan Asam

**Gambar 18** Hasil Respon *Plant* *Kontroller Fuzzy* dengan gangguan Asam**Tabel 4** Respon Dinamik dengan Gangguan Asam

Parameter	Respon Dinamik
M_p (Simpangan Maksimum)	2,46 %
E_{ss} (Error Steady State)	0.2 %
t_p (waktu M_p)	54.1 Detik
t_s (waktu tunak)	66,9 Detik
t_r (waktu naik)	48,9 Detik
t_d (waktu tunda)	15,4 Detik

Berdasarkan hasil analisis respon dinamik sistem pada pengujian *plant* Pengendalian pH air pada Prototipe Tambak Udang Vaname berbasis *fuzzy logic controller* dengan gangguan asam memiliki nilai *Error Steady State* pada sistem sebesar 0.2 %, waktu naik (t_r) yaitu 48.9 detik, waktu tunak (t_s) yaitu 66.9 detik, waktu tunda (t_d) sebesar 15.4 detik dan memiliki nilai simpangan maksimum sebesar 2.46 %.

Berdasarkan hasil analisis respon dinamik sistem dari Tabel 1 sampai Tabel 4 dapat diketahui bahwa yang memiliki M_p (simpangan maksimum) terkecil adalah respon dengan metode *fuzzy logic controller* yaitu sebesar 0,74%. Sedangkan yang memiliki M_p (simpangan maksimum) terbesar adalah respon tanpa *kontroller* yaitu sebesar 2,69%. Dapat dilihat pula bahwa respon tanpa *kontroller* akan lebih cepat mencapai setpoint, sedangkan respon menggunakan *fuzzy logic controller* lebih lama untuk mencapai setpoint akan tetapi hasil responnya lebih baik dan meminimalisir M_p (simpangan maksimum).

Perbandingan Respon pH pada Pengujian *Real Plant*Tabel 5 Respon pH pada Pengujian *Real Plant*

Parameter	Respon pH			
	Tanpa Kontroller	Dengan Kontroller	Dengan Gangguan Basa	Dengan Gangguan Asam
Overshoot	0,23	0,05	0,15	0,16
Rata – rata steady state	7,06	6,97	6,98	6,98
Error	0,06	0,03	0,03	0,03

Berdasarkan Tabel 5 respon pH pengujian real plant pengendalian pH air pada prototipe tambak udang vaname yang memiliki overshoot terbesar adalah respon tanpa kontroler yaitu 0,23 satuan pH. Sedangkan respon dengan kontroler *fuzzy* memiliki overshoot paling kecil yaitu 0,05 satuan pH. Dapat dilihat juga bahwa respon dengan kontroler baik dengan menggunakan gangguan atau tanpa gangguan memiliki nilai error yang sama yaitu 0,03 satuan pH. Sedangkan respon tanpa kontroler memiliki nilai error sebesar 0,06 satuan pH.

PENUTUP

Simpulan

Pengendalian pH air pada prototipe tambak udang vaname berbasis *fuzzy logic controller* berhasil dibuat dan dapat bekerja dengan baik. Dalam perancangan pengendali *fuzzy logic controller* menggunakan 2 variabel *input error* dan *deltaerror*, dan 2 variabel *output* yaitu variabel *pwm* pompa asam dan *pwn* pompa basa. Arduino Mega sebagai mikrokontroler memberikan perintah kepada pompa motor DC sebagai aktuator untuk menambahkan cairan asam atau basa kedalam prototipe agar pH didalamnya sesuai dengan setpoint.

Hasil respon dinamik pengendali pH air pada prototipe tambak udang vaname setelah melakukan pengujian menggunakan metode *fuzzy logic controller*, berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa respon memiliki nilai *error steady state* pada sistem sebesar 0.4%, dengan nilai *rise time* = 29,6 s, *setting time* = 40,5 s, simpangan maksimum = 0,74 %. Ketika *plant* diuji menggunakan gangguan basa, berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa respon dapat mencapai setpoint dengan membutuhkan waktu 46,3 detik dan *Error Steady State* sebesar 0.2%. Sedangkan ketika *plant* diuji menggunakan gangguan asam, berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa respon dapat mencapai setpoint dengan membutuhkan waktu 44,1 detik dan *Error Steady State* sebesar 0.17%.

Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut: Untuk memperoleh respon sistem yang mungkin lebih baik, maka dapat dicoba dengan menggunakan Cairan asam dan basa selain yang telah digunakan dalam penelitian ini yaitu cuka dan kaporit. Menggunakan *microcontroller* dengan spesifikasi yang lebih bagus dari Arduino Mega. Membangun dengan metode kontroler yang lain guna mempercepat respon sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Andi Kurniawan, S.T., M.T. dan Agus Margianto, S.Si., M.T. Pengendalian Derajat Keasaman dan Kebasaan Air Berbasis *Fuzzy Logic Controller* (Pengendalian Logika *Fuzzy*). Semarang: Universitas Semarang.
- Andrian Kristianto, dkk. 2012. *Pengendalian pH Air dengan Metode PID pada Model Tambak Udang*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Anself. 2016. Water Oil Pump Waterproof Submersible DC 12V, (Online), (<https://www.anself.com/p-h16867.html>, diakses pada 26 Februari 2019).
- Arduino. 2015. Arduino Mega, (Online), (<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega/>, diakses pada 26 Februari 2019).
- Burhanuddin, Muhammad. 2014. Aplikasi Logika *Fuzzy* dengan MATLAB, (Online), (<https://alvinburhani.wordpress.com/2014/05/25/aplikasi-logika-fuzzy-dengan-matlab>, diakses pada 5 Maret 2019).
- DFRobot. 2016. PH Meter SKU SEN0161, (Online), (https://wiki.dfrobot.com/PH_meter_SKU_SEN0161, diakses pada 27 Februari 2019).
- Kasiram, Moh. 2008. Metodologi Penelitian. Malang: UIN-Malang Pers.
- Kusumadewi, Sri, dan Purnomo, Hari. 2010. “Aplikasi Logika *Fuzzy*”. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Remy. 2016. Derajat Keasaman (pH) Air di dalam Tambak Udang Vaname, (Online), <https://ternakpedia.com/462/derajat-keasaman-ph-air-tambak-udang-vaname/> diakses pada 2 Februari 2019).
- Reznik, Leonid, 1997. “Fuzzy Controller”. Oxford : Newnes
- Suparjo, Mustofa Niti. 2010. *Daya Dukung Lingkungan Perairan Tambak Desa Mororejo Kabupaten Kendal*. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Susilo, Mizan Wahyu. 2016. *Budidaya Pantai dan Laut Tamba Tradisional*. Pontianak : Universitas Muhamadiyah Pontianak.